

В.В. Говоруха, С.Л. Ладик, А.В. Говоруха, В.К. Кизилов, Т.П. Собко

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПРИВОДОВ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ДЛЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Предложены способы защиты приводов стрелочных переводов и их элементов от воздействия погодных условий и загрязнения, а также несанкционированного доступа посторонних лиц, обеспечивающие надежную и безопасную работу приводов стрелочных переводов и их внешних элементов.

СИСТЕМА ЗАХИСТУ ПРИВОДІВ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ДЛЯ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ

Запропоновано способи захисту приводів стрілочних переводів і їх елементів від дії погодних умов і забруднення, а також несанкціонованого доступу сторонніх осіб, які забезпечують надійну і безпечну роботу приводів стрілочних переводів і їх зовнішніх елементів.

SYSTEM OF PROTECTION OF DRIVES OF ARROW TRANSFERS FOR A RAIL TRANSPORT

The methods of protection of drives of arrow transfers and their elements from influence of weather terms and contamination are offered, and also – unauthorized division of strange persons, providing reliable and safe work of drives of arrow transfers and their external elements.

ВВЕДЕНИЕ

В области рельсового транспорта одним из основных объектов, обеспечивающих достижение целей безопасности и надежности движения, повышения безопасности труда является рельсовый путь и его взаимодействие с подвижными транспортными средствами в зависимости от параметров и характеристик конструкции и условий эксплуатации рельсового пути [1].

Одним из способов повышения работоспособности стрелочных переводов является обеспечение безударного контакта острия с рамными рельсами в процессе изменения пути следования подвижного состава с одновременным обеспечением быстрого действия привода, достаточного для

перемещения острия из одного крайнего положения в противоположное без остановки движения поездов [1].

Серийно выпускаемые электроприводы стрелочных переводов для подземных условий работы обладают высоким быстродействием. Так, электродвигательные приводы типа ПМС-4 и ПМС-5 имеют время перемещения острия около 0,8 с, а электросоленоидные приводы типа ПСС и аналогичные – 0,3 – 0,5 с, что наряду с неравномерностью подбивки балластного слоя приводит к тому, что на рельсы действуют значительные динамические усилия. Возникающие при этом в материале рельсов механические напряжения могут достигать величин, способствующих накоплению усталостных явлений и снижению надежности

конструкции рельсового пути, безопасности движения подвижного состава, безопасности персонала в процессе обслуживания и ремонта приводов стрелочных переводов.

В [2, 3] определено минимально допустимое время перемещения остряков, при котором исключается накопление усталостных явлений и обеспечивается приемлемый уровень надежности конструкции рельсового пути и безопасности движения подвижного состава. Исследование показало, что допустимое по условиям обеспечения требуемой работоспособности стрелочного перевода время перемещения остряков обратно пропорционально длине остряков. На рис. 1 приведен график этой зависимости.

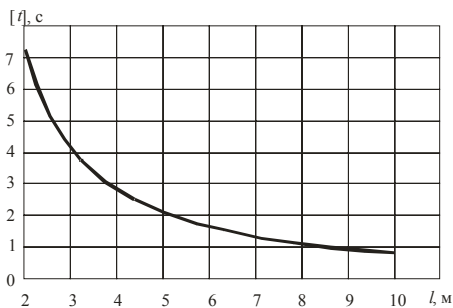


Рис. 1. График зависимости минимально допустимого времени перемещения остряка t от его длины l

Ни один из серийно выпускаемых приводов данному требованию не удовлетворяет. Потребовалась разработка приводов стрелочных переводов повышенной мощности с учетом взаимодействия элементов стрелочного перевода и привода в процессе работы.

Целью статьи является исследование способов повышения безопасности и защиты приводов стрелочных переводов от повреждений.

Это достигается за счет решения таких задач:

- обоснование необходимости создания средств защиты приводов стрелочных пе-

реводов;

- определение способов защиты приводов стрелочных переводов и их элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обоснование необходимости создания средств защиты приводов стрелочных переводов заключается в следующем.

Для определения действия вертикальных сил на рельс он рассматривается как балка, лежащая на сплошном упругом основании при следующих допущениях:

- рельс считается неразрезной балкой бесконечно большой длины постоянного сечения, лежащей на многочисленных равноупругих точечных опорах или на сплошном равноупругом основании;

- вертикальные усилия прикладываются в плоскости симметрии рельсов, а рельсы обеих нитей считаются равнонагруженными;

- колеса в движении не отрываются от рельсов и не оказывают ударных воздействий;

- допускаются двусторонние реакции основания;

- предполагается линейная зависимость между давлением на единицу площади основания и упругой осадкой основания

$$p = k_n u,$$

где p – давление на единицу площади;

k_n – характеристика упругости основания или коэффициент постели, численно равный усилию, нормально приложенному к единице площади основания, которое вызовет упругую просадку, равную единице длины, кг/см³.

Коэффициент постели k_n линейно зависит от плотности балласта, т.е. чем больше плотность, тем более жестким будет балластный слой. Согласно [4], $\gamma_0 = 1,6 - 1,75$ т/м³, при этом меньшие цифры соответствуют ручному уплотнению. Если принять, что при машинной подбивке $k_{нм} = 1$, то при ручной –

$$k_{np} = 0,91.$$

Для шпального ящика с расположенными в нем тягами распределение коэффициентов постели рассчитывается по модели (рис. 2).

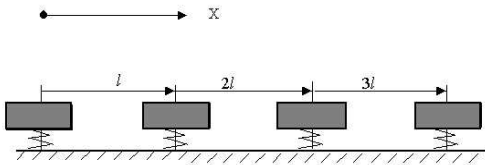


Рис. 2. Схема определения текущего значения коэффициента постели

Из рис. 2 следует:

- при $x \leq 0$ $k_n = k_{nm}$;
- при $0 < x \leq l$ $k_n = 2k_{nm} \frac{x}{l} - k_{np}$;
- при $l < x \leq 2l$ $k_n = k_{np}$;
- при $2l < x \leq 3l$ $k_n = k_{np} - 2k_{nm} \frac{x}{l}$.

Здесь за начало отсчета координаты x принимается ближайший левый к x брус. После всех преобразований:

при $0 < \xi = \lambda$

$$y_1 = 4 \sqrt[4]{\frac{2l^2}{Ela^3b^3(2k_{nm}x - k_{np} \cdot l)^3}};$$

при $\lambda < \xi = 2\lambda$

$$y_2 = 4 \sqrt[4]{\frac{2l^3}{Ela^3b^3k_{np}^3}};$$

при $2\lambda < \xi = 3\lambda$

$$y_3 = 4 \sqrt[4]{\frac{2l^2}{Ela^3b^3(2k_{np}l - 2k_{nm}x)^3}}.$$

Пусть материальная точка массой m движется вдоль оси абсцисс со скоростью v_x (рис. 3). Поверхность ее движения может быть описана функцией $y = f(x)$.

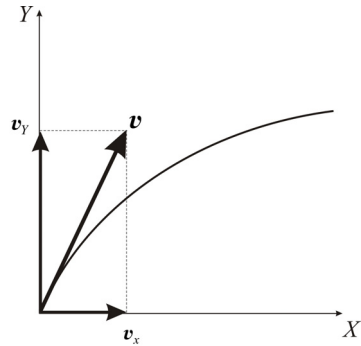


Рис. 3. Траектория движения колеса по рельсам с переменным коэффициентом постели

В любой произвольный момент времени t материальная точка движется по касательной к кривой $y = f(x)$. Угол наклона касательной в этот момент $\varphi = \text{arctg} \frac{dy}{dx}$.

Скорость движения материальной точки вдоль касательной

$$v = \frac{v_x}{\text{tg} \varphi} \frac{v_x}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}.$$

Скорость вдоль оси ординат

$$v_Y = v \sin \varphi = \frac{v_x}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} \times \sin \text{arctg} \frac{dy}{dx} = \frac{v_x \cdot \frac{dy}{dx}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}.$$

За промежуток времени Δt материальная точка сместится вдоль оси x на величину $\Delta x = v_x \Delta t$. То же самое происходит вдоль оси Y

$$\Delta Y = v_Y \Delta t = \frac{\frac{dy}{dx}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cdot x \cdot \Delta t.$$

Величина ординаты поверхности $y = f(x)$ изменится на $\Delta Y_n = f(x) \cdot \Delta x = f(x) \cdot v_x \cdot \Delta t$. Разность ординат поверхности и материальной точки

$$\Delta h = \Delta Y - \Delta Y_p = \frac{\frac{dy}{dx}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cdot v_x \cdot \Delta t - f(x) \times$$

$$\times v_x \cdot \Delta t = \left(\frac{\frac{dy}{dx}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} + f(x) \right) \cdot v_x \cdot \Delta t.$$

Материальная точка движется в поле силы тяготения $G = mg$. Суммарный импульс материальной точки $I = m \cdot v_Y - mg \cdot \Delta t$; результирующая скорость $v_Y = I / m$.

Разность ординат

$$\Delta h = v_x \frac{dy/dx}{1 + (dy/dx)^2} \cdot \Delta t - g(\Delta t)^2 - f(x)v_x \Delta t.$$

Если $\Delta h = 0$ при $\Delta t_1 = 0$, то

$$\Delta t_2 = \frac{v_x}{g} \left(\frac{dy/dx}{1 + (dy/dx)^2} - f(x) \right).$$

Максимальная разность ординат при

$$\Delta t_{max} = \frac{v_x}{g} \left(\frac{\frac{dy}{dx}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} - f(x) \right) \text{ составит}$$

$$\Delta h_{max} = \frac{v_x^2}{g} \left(\frac{\frac{dy}{dx}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} - f(x) \right)^2.$$

При таком подъеме над поверхностью $y = f(x)$ материальная точка накопит по-

тенциальную энергию ΔII , которая переходит в кинетическую.

Процесс удара рассматривается как удар по неподвижной поверхности. Коэффициент динамичности

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{v_k^2}{g \delta_{cm} (1 + \alpha \cdot \beta)}},$$

где δ_{cm} – деформация поверхности рельса под действием статической нагрузки, равной массе материальной точки;

$\beta = Q / m$, где Q – масса рельса;

$\alpha = (3 + \eta + \eta^2) / (140\eta^2(1 - \eta)^2)$,

где $\eta = l' / l$, где l' – расстояние от опоры к точке удара; l – расстояние между опорами.

Рассчитываются значения Δh_{max} и k_d для $x = 0$ и строятся графики зависимостей $h_{max} = f(v_x)$ и $k_d = f(v_x)$. Из графиков (рис. 4 и 5) следует, что чем равномернее будет подбит балласт под подошвы брусьев, тем меньшей будет глубина «динамической неравномерности» и тем меньшей будет вероятность возникновения аварийной ситуации.

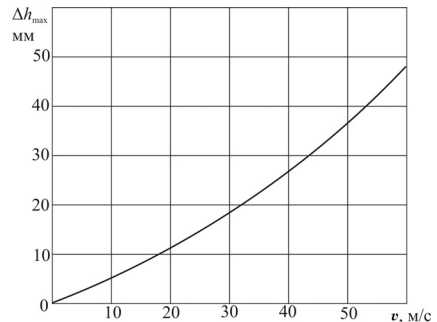


Рис. 4. График зависимости $\Delta h_{max} = f(v_x)$

Величина этой «динамической неравномерности» определяется, исходя из расчетной модели, приведенной на рис. 6.

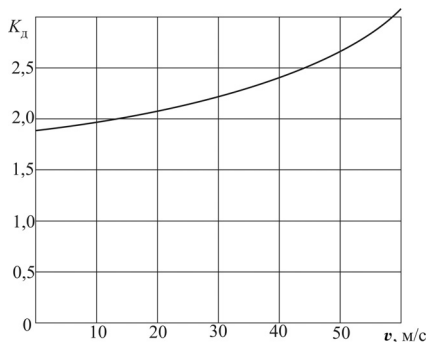


Рис. 5. График зависимости $k_d=f(v_x)$

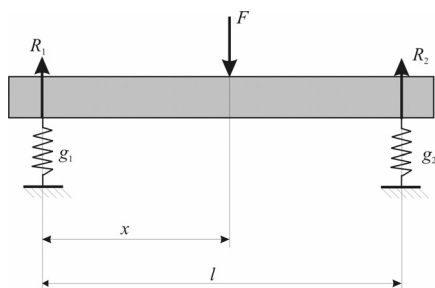


Рис. 6. Схема определения величины «динамической неравномерности»

Рельс считается отрезком абсолютно жесткой балки, лежащей на опорах, которые характеризуются коэффициентами упругости g_1 и g_2 . Под действием силы F возникает перемещение балки за счет деформаций опор на величину y_1 и y_2 соответственно. При этом точка прикладывания силы F перемещается на величину

$$y = \frac{x}{l}(y_2 - y_1) + y_1.$$

Коэффициент жесткости эквивалентной пружины:

$$\begin{aligned} F &= -gy; \\ R_1 &= -g_1 y_1; \\ R_2 &= -g_2 y_2; \\ R_1 + R_2 - F &= 0; \\ Fx - R_2 l &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Решение системы уравнений (1), с учетом того, что при $g_1 = 1$, $g_2 = k$ переме-

щение $y_1 = ky_2$, примет вид

$$g = \frac{kl^2}{x^2(1-k) + klx} = \frac{g_1 g_2 l^2}{x^2(g_1 - g_2) + g_1 g_2 lx}.$$

При этом

$$y = \frac{x^2(1-k) + klx}{kl^2} = \frac{x^2(g_1 - g_2) + g_1 g_2 lx}{g_1 g_2 l^2}.$$

Линия деформированного рельса под нагрузкой приведена на рис. 7.

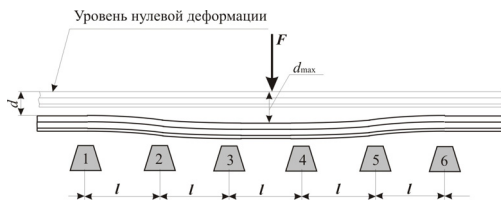


Рис. 7. Линия деформированного рельса, находящегося под нагрузкой

Защита приводов стрелочных переводов реализуется двумя способами:

- перемещение привода стрелочного перевода с пешеходной дорожки в специально подготовленную для этого нишу;
- применение шпалы специальной конструкции, обеспечивающей защиту узлов и деталей, соединяющих привод стрелочного перевода с остряками от воздействия погодных условий и загрязнения, а также несанкционированного доступа.

Перемещение привода стрелочного перевода с пешеходной дорожки требует сооружения достаточно глубокой ниши. Для исключения необходимости проведения глубоких ниш ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины была предложена конструкция гарнитуры привода стрелочного перевода (рис. 8).

Применение гарнитуры такого типа позволяет убрать привод с пешеходной дорожки, однако не обеспечивает защиту электропривода стрелочного перевода в достаточном объеме, который достигается с использованием бруса специальной конструкции («полая шпала»).

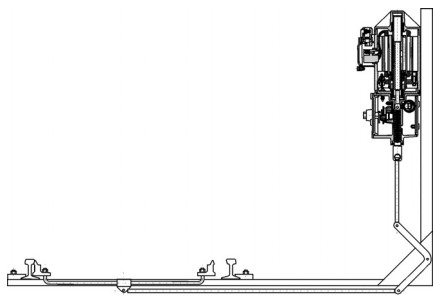


Рис. 8. Схема гарнитуры привода стрелочного перевода ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины

Полый брус разработки ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины представляет собой сварную металлическую конструкцию, устанавливаемую на место двух брусьев [2, 5] (рис. 9).

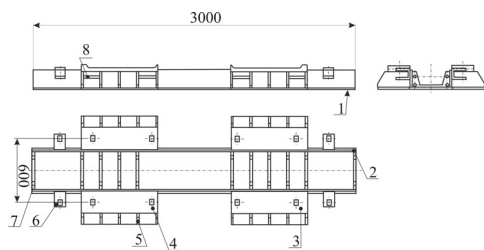


Рис. 9. Полый брус разработки ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины: 1 – дно; 2 – стенка; 3 – подкладка; 4, 7, 8 – перемычки; 5 – ребро жесткости; 6 – скоба

Полый брус устанавливается на место двух брусьев, образующих в стрелочных переводах шпальный ящик, с тягами внутри. Он представляет собой открытый сверху короб с приваренными по бокам подрельсовыми площадками, на которые устанавливаются и закрепляются с помощью обычных закладных болтов подкладки с подушками рамных рельсов стрелочного перевода. Это исключает необходимость перемещения соседних брусьев, так как замена штатных брусьев на полый брус не

изменяет расположения шпальной решетки.

Площадь опоры такого бруса на балласт полностью соответствует площади подошв тех двух брусьев, которые заменяются этим брусом.

Достаточную жесткость конструкции под подрельсовыми плоскостями обеспечивает система ребер жесткости. За пределами подрельсовых плоскостей ширина полого бруса составляет 400 мм, что делает возможным механизированную подбивку этого бруса на длине, достаточной для поддержания равномерности плотности балласта на протяжении всего стрелочного перевода.

Полые шпалы (полые брусья) могут изготавливаться в виде сварной конструкции или из чугуна с шаровидным графитом и не отличаются по весу от бетонных шпал. Острые кромки и углубления снизу обеспечивают стабильность положения рельса относительно балласта. Съемная крышка гарантирует оптимальную защиту от воздействия погодных условий и загрязнения, а также предупреждает возможность несанкционированного доступа к открытым подвижным элементам (тяги и пр.). Свободный доступ с нижней и боковой сторон позволяет без затруднений осуществить ревизионный осмотр [6].

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показывают, что допустимая по условиям надежности и безопасности движения вертикальная деформация рельсов по всей длине стрелочного перевода должна быть одинаковой. Это достигается путем обеспечения равномерности подбивки балласта на протяжении всего стрелочного перевода.

Предложены способы защиты приводов стрелочных переводов, обеспечивающие их надежную и безопасную работу.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Говоруха В.В. Физико-технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров / В.В. Говоруха. – К.: Наукова думка, 1992. – 200 с.

2. Говоруха В.В. Создание автоматизированных систем управления стрелочными переводами рельсового транспорта: монография / В.В. Говоруха, С.Л. Ладик. – Д.: Овантаж, 2005. – 230 с.

3. Говоруха В.В. Метод исследования кинематики приводов стрелочных переводов / В.В. Говоруха, С.Л. Ладик, А.В. Говоруха // Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2012. – Т. 2 – С. 236 – 240.

4. Говоруха В.В. Проектирование и внедрение стрелочных переводов для горных предприятий / В.В. Говоруха, С.Л. Ладик // Сб. Донецкого нац. техн. ун-та. – 2008. – Вып. 16 (142). – С. 57 – 66.

5. Пат. 49750 А. UA, E01B7/00. Стрелочний перевідний пристрій / В.В. Говоруха, М.Д. Костюк, С.Л. Ладик, В.І. Зінченко; заявник і патентовласник Науково-конструкторське технологічне бюро олійного господарства Укрзалізниці (НКТБЦП УЗ) – 2002054139; заявл. 21.05.02; опубл 16.09 02, Бюл. № 9. – 8 с.: ил.

6. Полые шпалы с кабель-каналами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.schwihag.com/ru/produkte/kabelschachtschwelle.html>. – Загл. с экрана.

ОБ АВТОРАХ

Говоруха Владимир Васильевич – к.т.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Ладик Сергей Леонидович – младший научный сотрудник Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Говоруха Андрей Владимирович – младший научный сотрудник Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Кизилов Валентин Кондратьевич – главный технолог лаборатории Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Собко Тамара Петровна – главный конструктор лаборатории Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.